

Antecedentes metodológicos y herramientas de diseño en el proyecto arquitectónico de la envolvente biomimética

Methodological background and design tools in the architectural design of the biomimetic envelope



Adriana Granero adriana.granero@gmail.com

Facultad de Arquitectura - Universidad de Belgrano – Buenos Aires,
Argentina



RESUMEN

Palabras clave
Biomimética,
Membrana,
Diseño pasivo

Esta investigación responde a la problemática del diseño arquitectónico sustentable, con una búsqueda en los antecedentes y en las herramientas que admitan el concepto de una envolvente arquitectónica, con un sistema de construcción inspirado en la biomimética y organizando un límite arquitectónico a partir de una estructura celular, como propuesta que desafía el mejoramiento de los modelos; se busca el equilibrio entre el diseño y el uso de los recursos. El objetivo es realizar un análisis de antecedentes metodológicos y de las herramientas de diseño para crear una envolvente arquitectónica, inspirada en la biomimética y que reduzca el consumo de energía de un edificio diseñado para el clima de Buenos Aires, Argentina; con diseño pasivo y para responder a los efectos de la insolación e iluminación.

ABSTRACT

Key Words
Biomimicry,
Membrane,
Passive design

This research responds to the problem of sustainable architectural design, with a search in the background and tools that support the concept of an architectural shell, with a building system inspired by bio-mimicry and organizing an architectural limit from a structure cell, as a proposal that challenges the improvement of models, is seeking balance between design and use of resources. The objective is to get an analysis of methodological background and design tools to create an architectural shell, inspired by bio-mimicry and to reduce energy consumption of a building designed for the climate of Buenos Aires, Argentina, with passive design and to respond to effects of insolation and illumination.

1. Introducción

En 1995 se publicó “una arquitectura evolutiva” para coincidir con una exposición del mismo nombre en la Architectural Association. En esta publicación se concentra el trabajo dirigido por John y Julia Frazer (con Pete Plata y Westbrook Guy) entre 1989 y 1996, pero también incluye el trabajo de formación del autor. La publicación se remonta a cuando recibió su título de ganador del premio en el proyecto de AA en 1969 y los trabajos de investigación relacionados con la Universidad de Cambridge. El libro investiga los fundamentos que crean los

procesos de la forma en la arquitectura, teniendo en cuenta la arquitectura como una forma de vida artificial, y propone una representación genética en una forma de ADN como código de script, que luego puede ser objeto de procesos de desarrollo y la evolución es de respuesta al usuario y al medio ambiente. El objetivo de una arquitectura evolutiva es lograr en el entorno construido el comportamiento simbiótico y el equilibrio metabólico con el medio ambiente natural. Para ello, opera como un organismo, en una analogía directa con el proceso de diseño subyacente de la naturaleza.

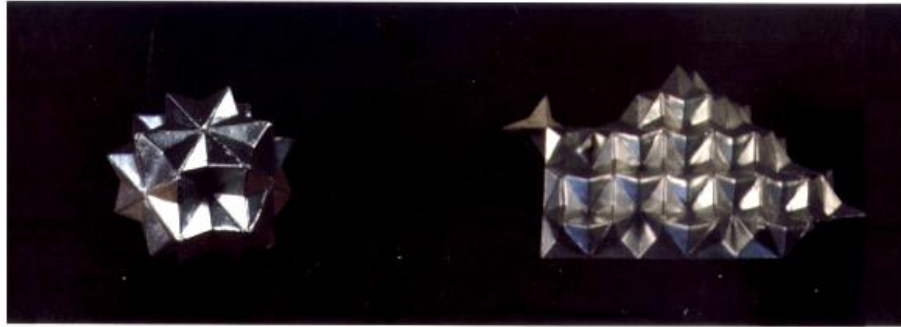


Figura 1: Sistema de estructura de reptil, modelos estructurales. Fuente: Frazer, 1968
Figure 1: Reptile structural system, structural models. Source: Frazer, 1968

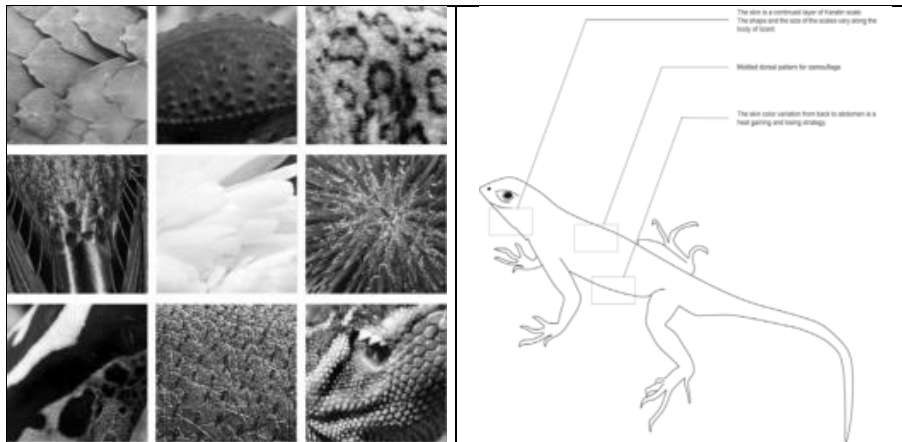


Figura 2: Ejemplo de inspiración biomimética para el control ambiental de un edificio basado en la piel de un lagarto.
Fuente: Univ. USC Los Ángeles EU 2004.

Figure 2: Example of biomimetic inspiration for environment control in a building based on lizard skin. Source: Univ. USC Los Ángeles EU 2004.

2. Algunas definiciones

La biomimética, de acuerdo con los autores, se puede interpretar como la fusión de las palabras en español:

bio + biometría + mimética + mimetismo

Donde,

bio: vida (Real Academia Española)

biometría: "es el estudio mensurativo o estadístico de los fenómenos o los procesos biológicos" (Real Academia Española),

mimética: camuflaje (Oxford) *mimetismo*: "Propiedad que poseen algunos animales y plantas de asemejarse a otros seres de su entorno" (Real Academia Española).

La biomimética es la ciencia que estudia la naturaleza como fuente de inspiración para resolver problemas humanos mediante modelos de sistemas, procesos y elementos que se inspira en la naturaleza.

Janine Benyus (Benyus, 2002) dice que existen tres niveles, el primero es el que imita la forma natural, el segundo es el que imita los procesos naturales y el tercero es el que copia funcionamiento de los sistemas, sus conductas.

Para interpretar cual es el potencial de imitar la naturaleza, podemos afirmar que en su evolución el habitar del hombre ha experimentado modificaciones que se rigen por un mayor rendimiento. El fenómeno que conocemos como evolución no es más ni menos que una optimización contra el campo de pruebas del medio ambiente. Todos los seres

vivos de la naturaleza han tenido que adaptarse a los continuos cambios en el proceso evolutivo y los que no, han desaparecido. Desde este punto de vista, el entorno construido es el resultado del proceso de mejoramiento del hábitat de la sociedad humana.

En algunas publicaciones más recientes (Mazzoleni, 2013) se plantea un ejemplo de inspiración biomimética para el control ambiental de un edificio. Se recreó una residencia para el clima del desierto, que imita el comportamiento y las características fisiológicas traducidas en piel de lagarto (Figura 2), esta descripción se puede consultar en la página 107 del libro antes mencionado). El patrón de color de la piel es típicamente un color oscuro en la parte posterior, como el de la lagartija, para la absorción de la luz solar y un color claro en el abdomen, para reflejar el calor de la tierra. Imitando la forma natural y que corresponde a características del clima desértico. La propuesta sugerida se compone de muros con paneles fotovoltaicos con forma de rombos, ventanas operables, acumuladores de temperatura y uniones con caucho sintético a base de un polímero de cloropreno.

Mientras que en otro eje, las investigaciones de Achim Menges y Steffen Reichert (2012), que exploran una nueva manera de respuesta de la forma arquitectónica en el higroscopio (

Figura 3), basada en la combinación de materiales inertes y la morfogénesis del cómputo. El trabajo exploró la inestabilidad dimensional de la madera en relación con el contenido de humedad y como se emplea para construir un clima de respuesta morfológico. La investigación consta de una suerte de membrana colocada y suspendida en una caja vidriada (una especie de pecera) donde se controla la humedad; en respuesta a esta fluctuación (cambio climático) de la humedad relativa, el modelo reacciona, abriéndose y cerrándose sin ningún tipo de equipo técnico o necesidad de energía. Imitando los procesos naturales.

Desde esta perspectiva, la envolvente arquitectónica responde a una forma de vida artificial, con un fenotipo determinado y con características morfológicas específicas.

El diseño de la envolvente arquitectónica puede verse como un problema de búsqueda de una solución, en el conjunto de las envolventes arquitectónicas, donde cada parte del conjunto

responde a una arquitectura distinta. Ahora bien, dado un criterio de performance, que socializara ambas experiencias, se diseñó una superficie que respondiera a este criterio, con la generación de nodos con conexiones y que permitió que la superficie pueda extenderse infinitamente. Esta superficie surge como un ensayo simple, pero a medida que se desarrollan las investigaciones se convierte en compleja, deja de ser una superficie rítmica, para transformarse en ruidosa (noise) ya que el mapeo es indirecto, depende del criterio de performance y del método de evaluación utilizado.

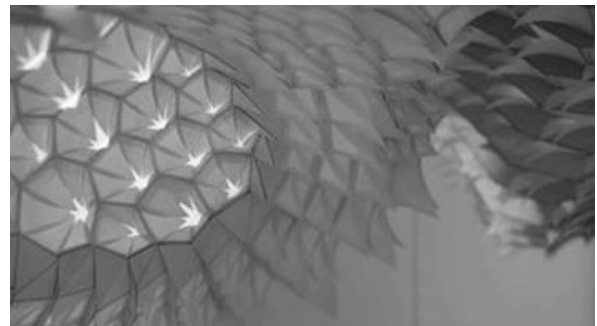
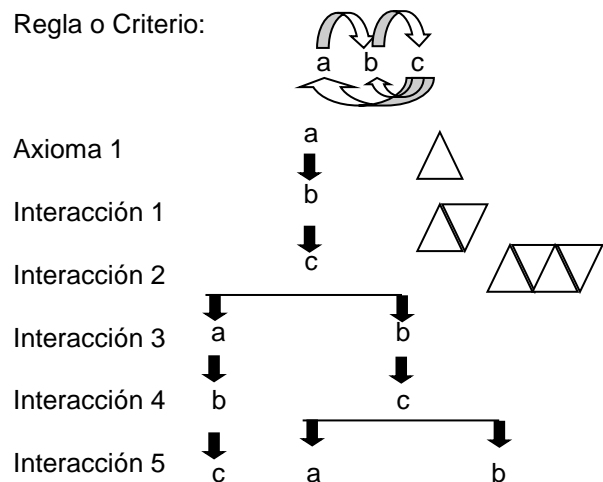


Figura 3: Higroscopio de Achim Menges y Steffen Reichert. Fuente: Menges y Reichert, 2012.

Figure 3: Achim Menges & Steffen Reichert hygroscope. Source: Menges and Reichert, 2012.

Se ha logrado establecer estos criterios con una relación hereditaria y recurrente, generando una superficie compleja, basándonos en lo que presenta Ernesto Bueno, en su trabajo de investigación "Consideraciones y recursos para la concepción de la forma en la era digital" (2008), y comienza nuevamente un ciclo de recombinación creando una serie de dependencias.

Regla o Criterio:



"a" constituye el axioma en esta sintaxis, el "gen" que contiene la composición alélica, el rasgo de organización.

"b" y "c" son las interacciones que constituyen la secuencia de enlace de un módulo base.

Actualmente, los algoritmos evolutivos (AE muy extendidos en los servicios públicos) que aplicados a la gráfica digital proponen soluciones inspiradas en la naturaleza y en la evolución natural, permiten la creación de mutaciones, selección y herencia, mientras que los algoritmos de procesos referidos a la inteligencia de enjambre a base de procedimientos (PSO) optimiza un problema teniendo en cuenta las posibles soluciones de posicionamiento de un objeto en forma de partícula que se mueven en el espacio en búsqueda de su mejor posición. Esta segunda clase, podemos enmarcarla dentro de un algoritmo heurístico, no determinada y por lo tanto no devuelve una solución óptima global, o sea no garantiza que la solución hallada sea la mejor. Pero la riqueza de esto radica en que nos proporciona un conjunto de óptimos posibles que son equivalentes en términos de rendimiento e incorporables al lenguaje arquitectónico.

Ahora bien, la arquitectura está integrada a un determinado ambiente, y la envolvente arquitectónica debe responder a ese ambiente, transformando al módulo base en un fenotipo que contiene los rasgos físicos (construcción geométrica y material) y conductuales.

Hasta ahora no se han planteado los rasgos conductuales y en este trabajo se pretende hacer un acercamiento a las características de la envolvente para responder de manera conductual.

Muchas de las palabras utilizadas aquí, dan cuenta de una integración léxica de técnicas generativas y computación gráfica (manual o con lenguajes interpretados). Las técnicas generativas están fundadas en una arquitectura evolutiva, cuyo objetivo es lograr en el entorno construido el comportamiento simbiótico y el equilibrio metabólico con el medio ambiente natural. Para ello, opera como un organismo, en una analogía directa con el proceso de diseño subyacente de la naturaleza y de la biomimética.

En el período pre-computacional de la arquitectura, el mejoramiento de la arquitectura se lograba simplemente con la acción interactiva

de ajustar el diseño con el objetivo de hacerlo mejor. Hace tiempo que se planteó que un buen proceso de diseño se genera mediante una *"conversación de datos de la situación"*... *"reflexiona sobre la acción para la construcción del problema"* (Schön, 1998), el proceso se basa en la reflexión, en las respuestas que se generan como réplicas. Este proceso es heurístico vagamente definido, como la intuición, sin embargo con la inclusión de los medios digitales este proceso o estrategia heurística pasó a ser exacta, con una optimización y un proceso de enfoque algorítmico. Pero el mejoramiento no es un concepto nuevo, el diseño es inseparable del acto de mejorar, ahora lo único que queda por comprobar es si el mejoramiento manifestado en la práctica digital puede remplazar a la intuición arquitectónica.

Explorando la realidad, en una pequeña escala de tiempo y con mirada superficial podemos decir que el entorno es una red estática e inerte, de nodos y conexiones rígidas, pero si el segmento del tiempo aumenta se manifiesta como un entorno dinámico, donde se percibe en el tiempo un flujo entre materia y energía, que continuamente da forma en sí mismo y cristaliza continuamente en él y en el afuera. Es un flujo de existir y como tal, siempre existe un desequilibrio, una diferencia potencial que genera el desplazamiento de la energía. La energía necesariamente debe fluir o almacenarse.

En este contexto, y con el planteo de una red de nodos y conexiones espaciales, se genera una suerte de locales óptimos donde cada uno es mejor que el anterior gracias al flujo de materia y energía, donde el mejoramiento pasa a ser un vector cambiante. La ciencia actualmente propone la teoría constructal, que considera que el acto de diseño en la naturaleza como un fenómeno de la física que une todos los sistemas animados e inanimados, esta teoría tiene una ley principal; para que el sistema de tamaño finito pueda persistir, debe evolucionar de manera tal que proporcione un acceso más fácil a las corrientes que impone el flujo a través de él.

En el caso de un objeto arquitectónico estos flujos guían su diseño que son de una naturaleza más difícil de racionalizar. Dentro de éstos se producen flujos funcionales, que son los de menor complejidad y están directamente vinculados con los ciclos y comportamientos sociales, que a su vez están en equilibrio entre el reposo y el movimiento.



Figura 4: Ejemplo de concepción y construcción previa de los alumnos.
Figure 4: Example of student conception and pre-construction.

El mejoramiento no es una acción sino un proceso que nunca termina, que define y da forma al flujo de materia y energía.

En este contexto ¿Cómo responder a dar forma arquitectónica para contener este flujo?

El Palacio de Cristal (1851) de Joseph Paxton, la Sagrada Familia (1882) de Antonio Gaudí, el Pabellón de Cristal (1914) de Bruno Taut, el Eastgate Center a Harare en Zimbabwe (1996) de Michael Pearce, el Swiss Re (2003), la Torre Hearts (2006) de Foster & Partner han dado una respuesta a la pregunta, algunos de manera ortogonal y con un lenguaje definido por mosaicos. En el último caso, gracias a los adelantos en el desarrollo y la aplicación de los sistemas Schüco FW 50+ y FW 60+.

3. Antecedentes y transferencias

Como antecedente a esta investigación, se han desarrollado desde el año 2008, con un cambio de plan de estudios, trabajos con alumnos pertenecientes a 2º año de la carrera de Arquitectura, en la Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina, en una materia que ha fusionado la morfología arquitectónica y la representación digital. Esta labor se ha visto influenciada y potenciada a partir del año 2009, por el trabajo de investigación realizado por la autora en el marco de la tesis Doctoral en Arquitectura, en la Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile.

Los antecedentes antes mencionados, generaron un cambio de modelo didáctico y con ello se modificaron los objetivos independientes. Con un propósito común se realizó una serie de experiencias como ensayos morfológicos orientados a la búsqueda y la construcción de una estructura compleja generativa a partir de tramas, la definición de axiomas y el comportamiento para encerrar espacios habitables. Los ensayos morfológicos iniciales se

realizan de manera manual, enlazando conceptos de técnicas generativas y vinculación con la gráfica digital, enfatizando la búsqueda de integración y un aprendizaje significativo, el nexo cognitivo. Se trabaja desde el concepto de trama en el plano y su transferencia a la trama en el espacio. Se construye sobre modelos analógicos manualmente y se traspone a modelos digitales, (Figura 5) realizando las interacciones de manera manual dentro de Rhinoceros® y Autodesk® 3DStudioMax. Los alumnos no poseen experiencia en el uso de la herramienta digital. El alumno debió realizar, a partir de una síntesis en el plano, una interpretación y propuesta en el espacio próximo y experimental perceptivo y real. Para luego llevar en forma de axioma la célula propuesta y realizar las interacciones de manera digital.

4. Desarrollo

La forma arquitectónica a la que se hace referencia es una organización en escalas múltiple: programática, estructural y material; no se puede entender como un evento genérico y aislado o inerte, se entiende como un proceso generativo de transacción y negociación, a través de la construcción y su adaptación a una situación por medio del muestreo o experimentación de fuerzas ambientales, físicas o materiales. Dar forma es un proceso selectivo, adaptativo y crítico, mediante el cual la morfología despliega su naturaleza genérica y fluctúa con un comportamiento colectivo e inteligente.

4.1 La envolvente arquitectónica biomimética

El uso de herramientas digitales permite la exploración de alternativas morfológicas de diseño, basadas en la producción. El modelo evolutivo fundado en la naturaleza, como proceso de generación de la forma arquitectónica, es un intento de lograr el comportamiento simbiótico y

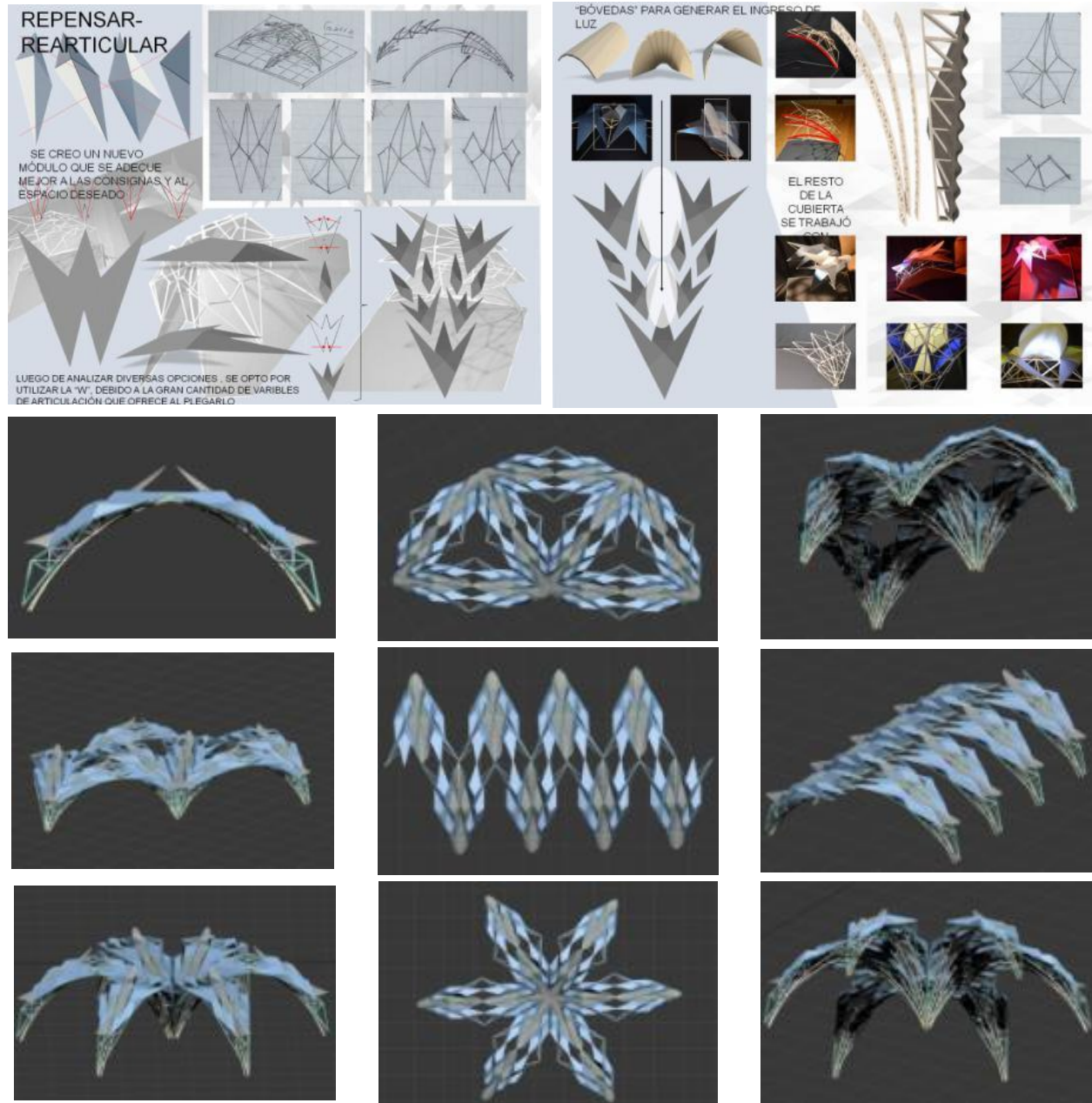


Figura 5: Ejemplo de concepción y representación de alumnos (Margosian-Waker).
Figure 5: Example of student conception and representation (Margosian-Waker).

el equilibrio metabólico, que son característicos del entorno natural. La creación de prototipos y el poder creativo de la evolución natural se emulan mediante la creación de modelos virtuales de arquitectura, que respondan a los cambios del entorno. El éxito de la evolución se estimula y se desarrolla. La arquitectura es considerada como una forma de vida artificial, está sujeta, al igual que el mundo natural, a los principios de la morfogénesis, la codificación genética, la replicación y la selección.

En 1956, Salvador Dalí decía: "la Arquitectura por venir será blanda y peluda"... "espero que la técnica me alcance algún día, porque todavía le llevo la delantera" (Estévez, 2009), él expresa que la Arquitectura tiene una dependencia directa con una cuestión técnica y que es sólo tener la técnica necesaria para representar y desarrollar los proyectos arquitectónicos. La misma fuente cita más adelante palabras de Dennis Dollens, uno de los

pioneros de la arquitectura digital, autodidacta, con intereses en las referencias biológicas, quien dijo en una conversación personal con Alberto Estévez en Barcelona, 2007: "what can be draw, can be built", lo que puedo dibujar, puedo construir.

Dicho esto, identificamos en los entornos digitales y en este contexto, el límite del espacio arquitectónico como una membrana (Figura 6), definida por sus cualidades de flexibilidad y su respuesta a las sollicitaciones de tracción.

Como elemento estructural, de poco espesor y escasa rigidez.

Podemos definir a una membrana, geoméricamente, como dos superficies y un espacio entre éstas, formando un todo.

$$r(u, v, z) = R(u, v) + zn$$

Donde,

$R(u, v)$: es el vector de posición de un punto de la superficie media,

n : es el vector normal a cada uno de los puntos de la superficie media,

z : valores variables que corresponden a menos la mitad de la altura o distancia entre ambas superficies a más de la mitad de dicha distancia.

Cada una de las superficies de esta membrana está conformada por elementos estructurantes aún más pequeños, a los efectos de esta experiencia se limita el diseño de estos elementos a objetos abstractos, es decir, en esta etapa del desarrollo, no están calculados ni dimensionados para cumplir con criterios de resistencia, rigidez, estabilidad o funcionalidad.

Estos elementos estructurantes de segundo orden son como las moléculas de lípidos en la bicapa lipídica.

Esta estructura responde al Modelo de Mosaico Fluido, que fuera propuesto en 1972 por S.J. Singer y Garth Nicolson.

Una vez determinado el contexto de la experiencia y sobre los que subyacen los conceptos arquitectónicos, se expresan reglas generativas como modo de evolución y se plantea que el desarrollo puede acelerarse y

verificarse por el uso de modelos computacionales. Los conceptos se describen en un lenguaje genético que produce una secuencia de comandos de código de instrucciones para el formulario generación.

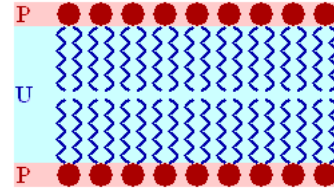


Figura 6: Esquema conceptual. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Lipid_bilayer_and_micelle.svg, 2013.

Figure 6: Conceptual diagram. Source: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Lipid_bilayer_and_micelle.svg, 2013

Los modelos digitales se utilizan para simular el desarrollo de formas prototípicas, correspondiente a elementos estructurantes de la membrana que luego son evaluadas sobre la base de su desempeño en un entorno simulado (Figuras 7 y 8). Esta técnica permite muchos pasos evolutivos se pueden generar en poco tiempo y las formas emergentes son a menudo inesperadas y con mucha riqueza formal.

Las técnicas evolutivas recién ahora son posibles de aplicar a los problemas complejos relacionados con nuestro medio ambiente construido. Para lograr esto, tenemos que considerar como la forma estructural se puede codificar, para que, aplicando una técnica como "algoritmo genético evolutivo", definiendo criterios, procesos y desempeños:

¿Cómo funcionan los criterios para la selección? ¿Cómo trabajan los procesos morfológicos? y ¿cómo se desempeñan los procesos metabólicos que están adaptados para la interacción de forma construida y su entorno?

Una vez que se resuelven estas cuestiones, la computadora es utilizada no como una ayuda para el diseño en el sentido usual, sino como un acelerador de la evolución y la fuerza generativa.

La propuesta se basó en trabajos de matemáticos y en los teselados, partiendo de una célula o axioma con distintas características, y replicando ésta como entidad con características hereditarias, formando una endo-simbiosis seriada. Para la experiencia se utilizaron algunas

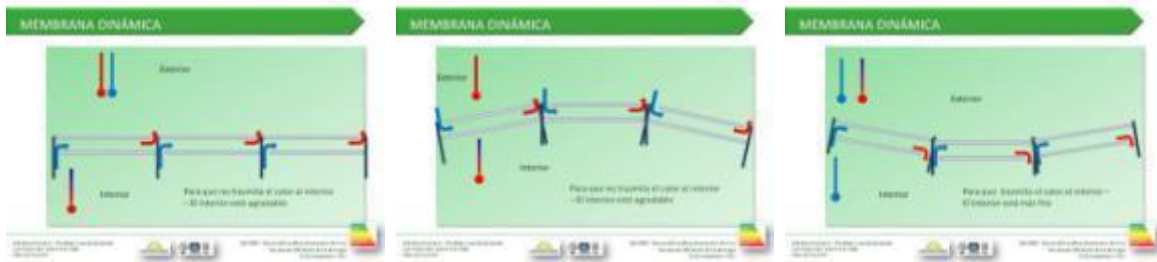


Figura 7: Diagramas presentados en el ELUREE 2013.
Figure 7: Diagrams presented at ELUREE 2013.



Figura 8: Diseño digital dinámico presentado en ELUREE 2013.
Figure 8: Dynamic digital design presented at ELUREE 2013.

herramientas digitales en combinación con un procedimiento geométrico inspirado en los trabajos antes mencionados.

Como expresamos al inicio de este documento, la experiencia buscó responder con un análisis metodológico y de herramientas de diseño arquitectónico, la creación de un sistema de construcción inspirado en la biomimética para crear una envolvente celular que satisfaga los desafíos de optimización de los modelos de forma energética; buscamos el equilibrio entre el diseño y el uso de los recursos.

El objetivo fue realizar una envolvente arquitectónica, inspirada en la biomimética para realizar el uso racional de recursos energéticos, con un diseño pasivo y para responder a los efectos de la insolación e iluminación.

Se planteó resolver esta envolvente generando una geometría compuesta por

módulos a modo de fenotipos que se replican como un patrón, estos módulos están vinculados con sus pares pero conservan cierto grado de libertad. Además estos módulos están compuestos por dos superficies distintas en sus dos caras, una corresponde a la parte superior y otra a la parte inferior del módulo, mientras que las caras laterales que se roza con las de los otros módulos adyacentes, han sido removidas. Esta construcción responde a que estos módulos o componentes de esta membrana como teselados funcionen como moléculas.

La inspiración actual de esta investigación corresponde a los trabajos como "The programmable Kinetic Fabric of Architecture" que utiliza un algoritmo genérico de tiempo real y "Active tensegrity study with physical engine 2" que posibilita el movimiento por tensión. Y dentro de los entornos de modelado paramétricos, donde conforman nuevos ámbitos cognitivos, en los cuales se concibe el proceso de diseño morfológico integrado a la tecnología digital, su fabricación y su ensamble.

5. Conclusiones

Existe un inminente límite físico entre lo que el diseño, como "pre-figuración" intelectual propone y su concreción física. A pesar de contar con las experiencias mencionadas como S.C.A.L.E.S. (smart - continuous - active - layered - environmental - system) propuesto en el libro de Mazzoleni (2013) y los descubrimientos presentados en el Higroscopio de Achim Menges y Steffen Reichert (2012), la creación, como parte de la imaginación, se ve restringida por carecer de fundamentos teóricos que corresponden a otras áreas del conocimiento. La falta de integración entre las áreas disciplinares agrava el diagnóstico y hace ineludible la consulta con

especialistas de otras áreas del saber, como la mecánica, la física, etc.

Podemos expresar que la pre-figuración de la arquitectura y su aprendizaje, se basa en una clasificación tridimensional con cuatro clases de operaciones, se recuerda con la memoria, se compara por semejanza, se vincula con la referencia el significado y se entiende o comprende por transferencia e implicancia, llevando a la construcción del lenguaje propio de la profesión. Cuando se realiza la operación de comparación, deriva en una división por clases en un pensamiento convergente, vinculado a la operación simbólica; cuando se relaciona el significado con la referencia, su naturaleza es divergente y se enlaza con la semántica, y cuando se entiende, se transfiere, se producen las implicancias, que llevan al desarrollo del lenguaje propio de la Arquitectura. Este lenguaje está vinculado estrechamente con los elementos de arquitectura y la estructuración, dichos elementos son los que se han modificado en la experiencia para responder de manera adecuada al paradigma sustentable y han provocado la evolución de la estructuración. Ahora se hace necesario proyectar con el aporte del área técnica, pero resulta complejo realizar esta vinculación y este enlace desde el inicio de la formación en arquitectura. La enseñanza de los aspectos sustentables en las etapas iniciales de la educación de los arquitectos no se realiza de manera creativa, sino como un soporte técnico en distintas etapas; afirmando que la formación actual de los arquitectos, expresado en sus currículos y contenidos, no considera aspectos sustentables relevantes en el inicio de la educación (Martínez, 2011). Las experiencias presentadas indagan la manera de enmendar esta situación, generando espacios de reflexión en el diseño. Nos planteamos cómo facilitar procesos de pensamiento de la *imaginación creadora* (Perez Lindo, 2012) desde la pre-figuración, relacionado con las tensiones

involucradas desde el inicio y el desarrollo del lenguaje arquitectónico.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Universidad de Bío-Bío, especialmente al Dr. Rodrigo García Alvarado, Director del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo por su permanente estímulo a la investigación y a la publicación, a la Universidad de Belgrano, principalmente a la Arq. Mabel Brignone y a la Arq. Mónica Fernández Colombo por generar las oportunidades necesarias para permitir la elaboración de este trabajo de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Benyus, J. M. (2009) *Biomimicry*. New York: HarperCollins e-books. 10987654321. 297p Adobe Digital Edition. ISBN 978-0-06-195892-2
- Estévez, A. (2008) *Arquitectura Biodigital Trabajo presentado al XII Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, realizado en La Habana, Cuba del 1-5 Diciembre del 2008*. Disponible en: http://cumincades.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=sigradi2008_172&sort=DEFAULT&search=Estevez&hits=2
- Martínez, R. (2011) *Situating Environmental Design in the Studio-An ecological learning approach. Tesis Doctoral Universidad de Nottingham*. Nottingham, Gran Bretaña, Gran Bretaña. Disponible en: <http://etheses.nottingham.ac.uk/2368/>
- Mazzoleni, I. (2013) *Architecture follows nature-biomimetic principles of innovative design*. Boca Ratón-London-New York: CRC Press Series in Biomimetics.e-books. 230 p. ISBN-13: 978-1-4665-0609-1
- Perez Lindo, A. (2012) *Competencias docentes para el siglo XXI*. Buenos Aires, Argentina: Tinta Fresca. 160 p.; 21,5x13 cm. ISBN 978-987-576-570-2
- Schön, D. (1998) *El profesional reflexivo: Como piensan los profesionales cuando actúan*. Buenos Aires, Argentina: Paidós. 308 p.; ISBN: 84-493-0556-X Título original: *The Reflective Practitioner, How Professionals Think in Action*. Basic Books, A Division of HarperCollins Publishers. Traducción de José Bayo

Recibido: 07|11|2013

Aceptado: 21|11|2013